

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

J1011 U.S. PTO  
10/040957  
01/02/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 2月 9日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-034092

出 願 人

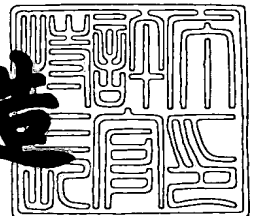
Applicant(s):

古河電気工業株式会社

2001年 8月17日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3074464

【書類名】 特許願

【整理番号】 A00316

【提出日】 平成13年 2月 9日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/00

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内

    【氏名】 尹 大烈

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内

    【氏名】 松浦 寛

【特許出願人】

    【識別番号】 000005290

    【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100093894

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 五十嵐 清

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 000480

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 9108379

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 可変群遅延ユニット及び可変群遅延モジュール

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光の導入と導出を行なう入・出射用導波手段と、該入・出射用導波手段と間隔を介して配置されて光の反射を行なう光反射素子とを有し、前記入・出射用導波手段により導入された光が前記光反射素子で反射して前記入・出射用導波手段に戻ってくる光の経路上に光多重反射体が設けられ、該光多重反射体と前記入・出射用導波手段との間の前記光の経路上には第 1 のレンズが設けられ、前記光多重反射体と前記光反射素子との間の前記光の経路上には第 2 のレンズが設けられており、前記光多重反射体は前記第 1 のレンズ側に対向する第 1 界面とその反対側の面である第 2 界面とが互いに平行と成して光多重反射体に入射した光を前記第 1 界面と前記第 2 界面によって多重反射する構成と成し、光多重反射体の一端面である第 3 界面は前記第 1 界面に対して  $90^\circ$  より大きく  $180^\circ$  より小さい角度を有する斜面と成していることを特徴とする可変群遅延ユニット。

【請求項 2】 入・出射用導波手段により導入された光を光多重反射体の第 3 界面に入射して第 1 界面または第 2 界面から出射し、光反射素子で反射した光を前記第 1 界面または第 2 界面に入射して前記第 3 界面から出射する構成としたことを特徴とする請求項 1 記載の可変群遅延ユニット。

【請求項 3】 光多重反射体の第 1 界面と第 3 界面との成す角度を  $150^\circ$  以上  $175^\circ$  以下の範囲内の値としたことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の可変群遅延ユニット。

【請求項 4】 光多重反射体の第 3 界面には少なくとも光が通過する領域に設定波長帯の光の反射防止膜が形成され、第 1 界面と第 2 界面には少なくとも光が通過または反射する領域に設定波長帯に対する反射率が  $60\%$  以上の反射膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 又は請求項 3 記載の可変群遅延ユニット。

【請求項 5】 光多重反射体の第 1 界面および第 2 界面は使用波長帯において透明な基板の両面を加工することにより形成されていることを特徴とする請求

項 1 乃至請求項 4 のいずれか一つに記載の可変群遅延ユニット。

【請求項 6】 第 1 のレンズは光多重反射体内で反射しながら進む光の干渉方向のスポット径が該干渉方向に直交する直交方向のスポット径よりも小さい光となるようにするアナモルフィックレンズを有することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一つに記載の可変群遅延ユニット。

【請求項 7】 入・出射用導波手段はシングルモード光ファイバ、マルチモード光ファイバ、グレーテッドインデックス光ファイバ、分散シフト光ファイバ、偏波保持光ファイバ、平面導波路のいずれか一つにより形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか一つに記載の可変群遅延ユニット。

【請求項 8】 第 1 のレンズと第 2 のレンズは、ボールレンズ、球面レンズ、分布屈折率型レンズ、非球面レンズ、シリンドリカルレンズ、マルチモードグレーテッドファイバレンズ、アナモルフィックプリズムを 1 つ以上組み合わせて形成されており、光が入射する面に設定波長に対する反射防止膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一つに記載の可変群遅延ユニット。

【請求項 9】 光反射素子は第 2 のレンズからの出射光が入射する領域を平面と成し、該領域には設定波長帯に対して反射率 9 0 % 以上の反射膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか一つに記載の可変群遅延ユニット。

【請求項 1 0】 光反射素子は第 2 のレンズからの出射光が入射する領域を曲面と成し、該領域には設定波長帯に対して反射率 9 0 % 以上の反射膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 9 のいずれか一つに記載の可変群遅延ユニット。

【請求項 1 1】 第 1 のレンズは少なくとも 2 種類のレンズを有する複合レンズとし、該複合レンズは少なくとも入・出射用導波手段から出射された光を平行光にする前記コリメートレンズと、光多重反射体内で反射しながら進む光の干渉方向のスポット径が該干渉方向に直交する直交方向のスポット径よりも小さい光となるようにするアナモルフィックレンズとを有することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 1 0 のいずれか一つに記載の可変群遅延ユニット。

【請求項 1 2】 第 2 のレンズと光反射素子の少なくとも一方の光部品と光多重反射体との距離を可変する光部品移動手段を設けたことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 1 1 のいずれか一つに記載の可変群遅延ユニット。

【請求項 1 3】 請求項 1 乃至請求項 1 2 のいずれか一つに記載の可変群遅延ユニットと、該可変群遅延ユニットの入・出射用導波手段に光結合する光結合手段と、該光結合手段を介して入・出射用導波手段に光を導入する光導入手段と、前記光結合手段を介して前記入・出射用導波手段からの出射光を導出する光導出手段とを有することを特徴とする可変群遅延モジュール。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信システム及び光計測分野等に用いられる可変群遅延ユニット及び可変群遅延モジュールに関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

近年、光ファイバを用いた光通信において、情報量の増加に伴い、単一波長の伝送では要求に応じることが難しい状況にある。そこで、互いに異なる波長の複数の強度変調された光を合波して波長多重光とし、この波長多重光を 1 本の光ファイバで伝送することにより伝送容量を増加させる波長多重伝送が提案され、実施されるようになった。

【 0 0 0 3 】

しかしながら、強度変調を行なった信号光を光ファイバに入射する際には、光ファイバを伝送する光の波長により伝搬速度が異なる、いわゆる波長分散が発生するので、光ファイバに入射した光の波形が光ファイバを伝送することにより入射波形とは異なる波形となって出射されてしまう。

【 0 0 0 4 】

また、送信信号をデジタル化し、光の強度変調により伝送させる際には、伝送距離が長くなるにつれ、波形のパルス幅が広がり、隣接するパルスと区別がつかなくなることによりエラーが発生しやすくなるといった問題がある。

## 【 0 0 0 5 】

上記分散の影響は、信号光の伝送速度を上げるためにパルス間隔を狭くすればするほど大きくなるので、高速光通信においては、光ファイバ自体の分散量を低減させる、または光ファイバの分散量と逆の特性を持つ分散補償モジュールを光ファイバに接続して分散の補償を高精度で行なう必要がある。

## 【 0 0 0 6 】

上記分散補償モジュールとして、分散補償光ファイバ（DCF）、分散補償グレーティング（DCG）、平面光導波回路のマッハツェンダ干渉型光学素子を多段に組み合わせたもの等が適用される。

## 【 0 0 0 7 】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のような分散補償モジュールを用いて分散の補償を行なう場合には、求められる分散補償量に対して最適な補償量が得られるように、その都度分散量を調節設定して分散補償モジュールを作製する必要がある。そのため、分散補償モジュールの作製は容易でなく、大量生産を行なうことも困難であった。また、上記のような分散補償モジュールは、作製後に分散量の調節を行なうことは困難であった。

## 【 0 0 0 8 】

本発明は上記従来課題を解決するために成されたものであり、その目的は、作製が容易であり、好ましくは分散量を可変することができる可変群遅延ユニットおよび可変群遅延モジュールを提供することにある。

## 【 0 0 0 9 】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって課題を解決するための手段としている。すなわち、第1の発明の可変群遅延ユニットは、光の導入と導出を行なう入・出射用導波手段と、該入・出射用導波手段と間隔を介して配置されて光の反射を行なう光反射素子とを有し、前記入・出射用導波手段により導入された光が前記光反射素子で反射して前記入・出射用導波手段に戻ってくる光の経路上に光多重反射体が設けられ、該光多重反射体と前記入・出射用導波

手段との間の前記光の経路上には第 1 のレンズが設けられ、前記光多重反射体と前記光反射素子との間の前記光の経路上には第 2 のレンズが設けられており、前記光多重反射体は前記第 1 のレンズ側に対向する第 1 界面とその反対側の面である第 2 界面とが互いに平行と成して光多重反射体に入射した光を前記第 1 界面と前記第 2 界面によって多重反射する構成と成し、光多重反射体の一端面である第 3 界面は前記第 1 界面に対して  $90^\circ$  より大きく  $180^\circ$  より小さい角度を有する斜面と成している構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 1 0 】

また、第 2 の発明の可変群遅延ユニットは、上記第 1 の発明の構成に加え、前記入・出射用導波手段により導入された光を光多重反射体の第 3 界面に入射して第 1 界面または第 2 界面から出射し、光反射素子で反射した光を前記第 1 界面または第 2 界面に入射して前記第 3 界面から出射する構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 1 1 】

さらに、第 3 の発明の可変群遅延ユニットは、上記第 1 又は第 2 の発明の構成に加え、前記光多重反射体の第 1 界面と第 3 界面との成す角度を  $150^\circ$  以上  $175^\circ$  以下の範囲内の値とした構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 1 2 】

さらに、第 4 の発明の可変群遅延ユニットは、上記第 1 又は第 2 又は第 3 の発明の構成に加え、前記光多重反射体の第 3 界面には少なくとも光が通過する領域に設定波長帯の光の反射防止膜が形成され、第 1 界面と第 2 界面には少なくとも光が通過または反射する領域に設定波長帯に対する反射率が  $60\%$  以上の反射膜が形成されている構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 1 3 】

さらに、第 5 の発明の可変群遅延ユニットは、上記第 1 乃至第 4 のいずれか一つの発明の構成に加え、前記光多重反射体の第 1 界面および第 2 界面は使用波長帯において透明な基板の両面を加工することにより形成されている構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 1 4 】

さらに、第 6 の発明の可変群遅延ユニットは、上記第 1 乃至第 5 のいずれか一つの発明の構成に加え、前記第 1 のレンズは光多重反射体内で反射しながら進む光の干渉方向のスポット径が該干渉方向に直交する直交方向のスポット径よりも小さい光となるようにするアナモルフィックレンズを有する構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 1 5 】

さらに、第 7 の発明の可変群遅延ユニットは、上記第 1 乃至第 6 のいずれか一つの発明の構成に加え、前記入・出射用導波手段はシングルモード光ファイバ、マルチモード光ファイバ、グレーテッドインデックス光ファイバ、分散シフト光ファイバ、偏波保持光ファイバ、平面導波路のいずれか一つにより形成されている構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 1 6 】

さらに、第 8 の発明の可変群遅延ユニットは、上記第 1 乃至第 7 のいずれか一つの発明の構成に加え、前記第 1 のレンズと第 2 のレンズは、ボールレンズ、球面レンズ、分布屈折率型レンズ、非球面レンズ、シリンドリカルレンズ、マルチモードグレーテッドファイバレンズ、アナモルフィックプリズムを 1 つ以上組み合わせ形成されており、光が入射する面に設定波長に対する反射防止膜が形成されている構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 1 7 】

さらに、第 9 の発明の可変群遅延ユニットは、上記第 1 乃至第 8 のいずれか一つの発明の構成に加え、前記光反射素子は第 2 のレンズからの出射光が入射する領域を平面と成し、該領域には設定波長帯に対して反射率 9 0 % 以上の反射膜が形成されている構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 1 8 】

さらに、第 1 0 の発明の可変群遅延ユニットは、上記第 1 乃至第 9 のいずれか一つの発明の構成に加え、前記光反射素子は第 2 のレンズからの出射光が入射する領域を曲面と成し、該領域には設定波長帯に対して反射率 9 0 % 以上の反射膜が形成されている構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 1 9 】



さらに、第 1 1 の発明の可変群遅延ユニットは、上記第 1 乃至第 1 0 のいずれか一つの発明の構成に加え、前記第 1 のレンズは少なくとも 2 種類のレンズを有する複合レンズとし、該複合レンズは少なくとも入・出射用導波手段から出射された光を平行光にする前記コリメートレンズと、光多重反射体内で反射しながら進む光の干渉方向のスポット径が該干渉方向に直交する直交方向のスポット径よりも小さい光となるようにするアナモルフィックレンズとを有する構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 2 0 】

さらに、第 1 2 の発明の可変群遅延ユニットは、上記第 1 乃至第 1 1 のいずれか一つの発明の構成に加え、前記第 2 のレンズと光反射素子の少なくとも一方の光部品と光多重反射体との距離を可変する光部品移動手段を設けた構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 2 1 】

さらに、第 1 3 の発明の可変群遅延モジュールは、上記第 1 乃至第 1 2 のいずれか一つの発明の可変群遅延ユニットと、該可変群遅延ユニットの入・出射用導波手段に光結合する光結合手段と、該光結合手段を介して入・出射用導波手段に光を導入する光導入手段と、前記光結合手段を介して前記入・出射用導波手段からの出射光を導出する光導出手段とを有する構成をもって課題を解決する手段としている。

## 【 0 0 2 2 】

上記構成の本発明において、例えば図 1 に示すように、入・出射用導波手段 5 から出射した光は第 1 のレンズ 6 を介して光多重反射体 8 の第 3 界面 3 に入射する。そうすると、この光は光多重反射体 8 の第 1 のレンズ 6 側に対向する第 1 界面 1 とその反対側の第 2 界面 2 との間で多重反射を繰り返しながら図の下方側から上方側にジグザグに進んで行く。

## 【 0 0 2 3 】

そして、例えば設定波長帯の光を 9 9 % 以上反射する反射膜を第 1 界面 1 に形成して、光が第 1 界面 1 で反射する際に第 1 界面 1 からの光の出射を防止し、第 2 界面 2 側を出射側とした場合、光が第 2 界面 2 で反射する際にその一部が第 2

界面 2 から出射される。

【 0 0 2 4 】

そして、この第 2 界面 2 で反射する度に出射される出射光が互いに干渉することにより光多重反射体 8 からの出射光が形成され、波長によって異なる角度を持った出射光になる。すなわち、これら出射光が形成される条件は、波長によって異なるので、それぞれ異なる角度を持って伝搬することになる。このように、上記第 2 界面 2 から出射される光の角度は光の波長によって異なる。

【 0 0 2 5 】

そして、光多重反射体 8 からの出射光はそれぞれ第 2 のレンズ 7 を介して光反射素子 4 に入射し、光反射素子 4 で反射した後、前記第 2 のレンズ 7 を介して光多重反射体 8 側に戻り、この戻り光が光多重反射体 8 の第 2 界面 2 に入射する。

【 0 0 2 6 】

光多重反射体 8 に戻ってくるそれぞれの戻り光の戻り位置および角度は、光多重反射体 8 からの出射光の角度によって異なり、また、前記の如く、光多重反射体 8 の第 2 界面 2 からの出射光の角度は光の波長によって異なる。そのため、光多重反射体 8 の第 2 界面 2 への戻り光の入射位置および角度は、光の波長によって異なる。

【 0 0 2 7 】

そして、第 2 界面 2 への入射位置（戻り光の戻り位置）が第 3 界面 3 から遠い位置（図における上部側の位置）となる光は、第 2 界面 2 への入射位置が第 3 界面 3 に近い位置（図における下部側の位置）となる光に比べ、光の入射位置である第 3 界面 3 に戻るために長い距離を伝搬することになり、光の波長によって伝搬距離（光路長）が異なるので、群遅延が発生する。言い換えれば、光の波長により伝搬距離が異なり、それに伴い、光多重反射体 8 を通過して戻ってくる時間が異なることになり、波長分散が発生する。

【 0 0 2 8 】

したがって、本発明において、上記波長分散の発生量を接続相手側（すなわち、例えば波長分割多重伝送において光ファイバ等の光伝送路）に対応させることにより、接続相手側の波長分散を補償することができる。

## 【 0 0 2 9 】

なお、上記波長分散の発生量は、光多重反射体 8 と第 2 のレンズ 7 との距離や光多重反射体 8 と光反射素子 4 との距離に対応する値となるので、本発明において、第 2 のレンズと光反射素子の少なくとも一方の光部品と光多重反射体との距離を可変する光部品移動手段を設けた構成においては、第 2 のレンズと光反射素子の少なくとも一方の光部品と光多重反射体との距離を可変することにより、光反射素子からの戻り光の第 2 界面への戻り位置を可変できるので、発生させる波長分散量を可変することが可能となる。

## 【 0 0 3 0 】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。図 1 には、本発明に係る可変群遅延ユニットの一実施形態例が示されている。同図に示すように、本実施形態例は、光の導入と導出を行なう入・出射用導波手段 5 と、該入・出射用導波手段 5 と間隔を介して配置された光反射素子 4 とを有している。また、入・出射用導波手段 5 により導入された光が前記光反射素子 4 で反射して入・出射用導波手段 5 に戻ってくる光の経路上に、光多重反射体 8 が設けられている。

## 【 0 0 3 1 】

さらに、光多重反射体 8 と前記入・出射用導波手段 5 との間の前記光の経路上には第 1 のレンズ 6 が設けられ、前記光多重反射体 8 と前記光反射素子 4 との間の前記光の経路上には第 2 のレンズ 7 が設けられている。

## 【 0 0 3 2 】

第 1 のレンズ 6 と第 2 のレンズ 7 は、ボールレンズ、球面レンズ、分布屈折率型 (GRIN) レンズ、非球面レンズ、シリンドリカルレンズ、マルチモードグレーテッドファイバレンズ (MMFL)、アナモルフィックプリズムを適宜 1 つ以上組み合わせて形成されるものである。本実施形態例において、第 1 のレンズ 6 は 2 種類のレンズから成る複合レンズであり、第 2 のレンズ 7 は、球面レンズにより形成されている。第 1 と第 2 のレンズ 6, 7 の光が入射する面には設定波長に対する反射防止膜が形成されている。

## 【 0 0 3 3 】

前記入・出射用導波手段 5 はシングルモード光ファイバにより形成され、光反射素子 4 は平面ミラーにより形成されている。光反射素子 4 は第 2 のレンズ 7 からの出射光が入射する領域（同図における反射面 1 4）を平面と成しており、該領域には設定波長に対して反射率 9 0 % 以上の反射膜が形成されている。前記光多重反射体 8 は基板 9 を有する光多重反射板であり、基板 9 はガラス材料である B K 7 により形成されている。

## 【 0 0 3 4 】

前記光多重反射体 8 は前記第 1 のレンズ 6 側に対向する第 1 界面 1 とその反対側の面である第 2 界面 2 とが互いに平行と成しており、第 1 界面 1 と第 2 界面 2 との距離は  $d$  である。光多重反射体 8 は、光多重反射体 8 に入射した光を第 1 界面 1 と第 2 界面 2 によって（第 1 界面 1 と第 2 界面 2 の間で）多重反射する構成と成しており、言い換えれば、第 1 界面 1 と第 2 界面 2 は、互いに平行に対向する多重反射面と成している。

## 【 0 0 3 5 】

光多重反射体 8 の一端面である第 3 界面 3 は前記第 1 界面に対して角度  $\alpha$  を有する斜面と成している。本実施形態例において、この角度  $\alpha$  は、 $150^\circ$  以上  $175^\circ$  以下の範囲内の値である  $160^\circ$  としている。

## 【 0 0 3 6 】

光多重反射体 8 の第 1 界面 1 には第 1 の反射膜（同図には図示せず）が形成されており、この第 1 の反射膜は設定波長帯の光を 9 9 % 以上反射する。第 2 界面 2 には第 2 の反射膜（同図には図示せず）が形成されており、この第 2 の反射膜は前記設定波長帯の光に対する反射率が 6 0 % 以上である。また、光多重反射体 8 の第 3 界面 3 には、少なくとも光が通過する領域に設定波長の光の反射防止膜（同図には図示せず）が形成されている。

## 【 0 0 3 7 】

本実施形態例において、前記入・出射用導波手段 5 により導入された光は、第 1 のレンズ 6 を介して光多重反射体 8 の第 3 界面に入射し、第 2 界面 2 から出射する。この出射光は前記光反射素子 4 で反射し、この反射光は第 2 界面 2 に入射して前記第 3 界面 3 から出射する構成と成している。

## 【 0 0 3 8 】

入・出射用導波手段 5 の出射光は発散光であるので、入・出射用導波手段 5 の出射端におけるビームスポットが例えば図 6 の (a) に示すような大きさ・形状であったとすると、ビームスポット径が徐々に広がり、例えば同図の (b) に示すようなビームスポットとなって、第 1 のレンズ 6 に入射する。

## 【 0 0 3 9 】

前記第 1 のレンズ 6 を構成する前記複合レンズは、コリメートレンズとアナモルフィックレンズとを有している。コリメートレンズは、入・出射用導波手段 5 から出射された光（発散光）を平行光にするレンズであり、入・出射用導波手段 5 の出射光を平行光とし、光のビームスポット径を広げずに前記アナモルフィックレンズに入射させる。

## 【 0 0 4 0 】

アナモルフィックレンズは例えばシリンダリカルレンズにより形成されており、アナモルフィックレンズは、コリメートレンズを通った光の略真円形状のビームスポットを、例えば同図の (c) に示すような X 方向に長い楕円形状や線状形状に変換して、この光のビームウエストが図 1 の位置  $A_0$ （光が光多重反射体 8 の第 3 界面 3 から最初に第 2 界面 2 に入射する位置）とほぼ一致するように集光する。

## 【 0 0 4 1 】

言い換えれば、アナモルフィックレンズの構成およびその配置形態をこのように設計することにより、アナモルフィックレンズは、光多重反射体 8 内で反射しながら進む光の干渉方向（光が反射しながら図 1 のようにジグザグに進んで行く方向であり、図 1、図 6 の Y 方向）のスポット径が該干渉方向に直交する直交方向（X 方向）のスポット径よりも小さい光とするレンズとして機能する。

## 【 0 0 4 2 】

そして、上記のように、アナモルフィックレンズによって光を X 方向に長い楕円形状や線状形状にすると、光が光多重反射体 8 内で反射しながら進むときの、光の干渉効果を高めることができる。なお、光のビームウエストにおける干渉方向のスポット径は、例えば使用波長と同等でもよく、例えば波長  $1.3 \mu\text{m}$  の使

用波長に対し  $10\ \mu\text{m}$  程度になるようにすればよい。

【0043】

ところで、本実施形態例において、図2に示す、光多重反射体8の第1界面1と第3界面3との境界部E（第1界面1と第3界面3とにより形成される稜線部）は、膜質が不均一な部分となる。

【0044】

なお、図2は、本実施形態例における光多重反射体8による光の分離原理を模式的に示した図であり、光が光多重反射体8の第3界面3に入射して光多重反射体8内で多重反射しながら、その光の一部が第2界面2から出射する経路を、図の太線により模式的に示している。同図に示す光の経路は光進行方向の中心軸の通る経路である。

【0045】

そして、前記境界部Eの膜質不均一部分に前記第1のレンズ6の出射光が入射すると、損失が発生する。また、光多重反射体8の第3界面3から入射して第2界面2の位置 $A_0$ に入射した光は、その一部が位置 $A_0$ から出射し、残りの光は第2界面2で第1界面1側に反射する。ここで、この反射光が前記境界部Bの膜質不均一部分に入射すると、損失が発生する。

【0046】

したがって、この境界部Bの膜質不均一部分は小さいことが望ましく、本実施形態例では、第3界面3を斜面にして、第1界面1と第3界面3との角度を適切に形成することにより前記膜質不均一部分を最小化している。

【0047】

また、図12に示すように、第1界面1と第3界面3の稜線部である境界部Eが、位置 $A_0$ を通る第2界面と垂直な線上に位置するような場合、例えば光多重反射体8の厚み $d$ を $500\ \mu\text{m}$ とし、角度 $\alpha$ を $150^\circ$ 、入射光の第2界面2への入射角 $\phi$ を $5^\circ$ とすると、第3界面3への入射光の入射位置 $B_0$ から境界部Eまでの第3界面3に沿った距離 $l$ は約 $48\ \mu\text{m}$ となる。

【0048】

それに対し、図13に示すように、第3界面3と第1界面が同一面上にあると

、その他の条件を図 1 2 の場合と同様にした場合に上記距離 1 は約  $44\ \mu\text{m}$  となるので、上記のように、第 1 界面 1 と第 3 界面 3 とが  $180^\circ$  よりも小さい適切な角度（この場合  $150^\circ$ ）にすると、入射光が第 3 界面 3 を通過する際の膜質不均一部分の影響を受け難くなるといった利点がある。

## 【 0 0 4 9 】

図 7 には、光多重反射体 8 の作製方法の一例が示されており、本実施形態例では、同図に示す作製方法を適用して光多重反射体 8 を作製することにより、前記膜質不均一部分を最小化している。

## 【 0 0 5 0 】

まず、図 7 の (a) に示すように、基板 9 の第 1 界面 1 に前記第 1 の反射膜 1 1 を形成し、この反射膜 1 1 上に、同図の (b) に示すように、レジスト 1 6 を形成する。この状態で、同図の (c) に示すように、基板 9 の一端側を設定角度（第 1 界面 1 と第 3 界面 3 との成す角度  $\alpha$ ）となるように加工する。

## 【 0 0 5 1 】

この加工は、一般に研磨によって行われるものであり、例えば第 1 の反射膜 1 1 の厚みを  $2\ \mu\text{m}$  とした場合、研磨角度  $\theta$  ( $\theta = 180 - \alpha$ ) を  $5^\circ$  以上にするることにより、膜質不均一部分を  $30\ \mu\text{m}$  以下にすることができる。

## 【 0 0 5 2 】

次に、同図の (d) に示すように、基板 9 の第 3 界面 3 に反射防止膜 1 3 を蒸着等により形成し、最後に、同図の (e) に示すように、レジスト 1 6 を除去する。このようにすると、第 1 界面 1 と第 3 界面 3 との境界部 B において、第 1 界面 1 と第 3 界面 3 との切れ目がはっきりとした精密な光多重反射体 8 を形成できる。その後、基板 9 の第 2 界面 2 には前記第 2 の反射膜 1 2 を形成する。

## 【 0 0 5 3 】

また、図 8 に示す作製方法を適用してもよい。すなわち、同図の (a) に示すように、基板 9 の第 1 界面 1 に第 1 の反射膜 1 1 を形成し、この反射膜 1 1 上に、同図の (b) に示すように、ダミー基板 1 7 を形成する。この状態で、同図の (c) に示すように、基板 9 の一端側を設定角度となるように加工し、同図の (d) に示すように、基板 9 の第 3 界面 3 に反射防止膜 1 3 を蒸着等により形成し

、最後に、同図の（e）に示すように、ダミー基板 17 を除去する。なお、この場合にも、基板 9 の第 2 界面 2 には前記第 2 の反射膜 12 を形成する。

#### 【 0 0 5 4 】

このような方法で光多重反射体 8 を作製することにより、接着剤等の有機材料を用いることなく光多重反射体 8 を作製できるので、接着剤の劣化等に起因する特性の劣化を防ぐことができ、また、高出力の入射光にも対応することができる。

#### 【 0 0 5 5 】

次に、図 2 に基づき、光の光多重反射体 8 内での反射および光多重反射体 8 からの出射形態について詳細に説明する。同図において、光多重反射体 8 の第 3 界面 3 に入射する光の入射角度を  $\phi_{in}$  で示しており、第 2 界面 2 への入射角度  $\phi$  を一定にした場合、研磨角度  $\theta$  が大きくなるにつれて第 3 界面 3 への入射角度  $\phi_{in}$  が大きくなる。そして、角度  $\phi$  を  $10^\circ$  以下にした場合、本実施形態例のように、波長  $1310\text{ nm}$  における屈折率が 1.5 のガラス材料を光多重反射体 8 として用いた場合には、第 3 界面 3 への入射角度  $\phi_{in}$  は研磨角度  $\theta$  と同程度の値となる。

#### 【 0 0 5 6 】

そして、上記入射角度  $\phi_{in}$  が大きくなることにより、基板 9 の内部に入射される入射光強度に偏光特性が表れ、第 3 界面 3 への反射防止膜の形成が困難になる。通常、前記ガラス材料を用いた場合、入射角度  $\phi_{in}$  が  $30^\circ$  程度であれば、反射防止膜は作製可能であるので、基板 9 の研磨角度  $\theta$  も  $30^\circ$  以下であることが望ましい。

#### 【 0 0 5 7 】

また、前記の如く、光多重反射体 8 の第 1 界面 1 と第 3 界面 3 との境界部 E を少なくする観点から、研磨角度  $\theta$  の範囲として  $5^\circ$  以上が望ましいことから、角度  $\theta$  は、 $5^\circ$  以上  $30^\circ$  以下が好ましく、本実施形態例では、第 1 界面 1 と第 3 界面 3 との成す角度  $\alpha$  を  $150^\circ$  以上  $175^\circ$  以下の値である  $160^\circ$  とした。

#### 【 0 0 5 8 】

また、入射光が第 3 界面 3 に対し角度  $\phi_{in}$  で入射される場合、入射光は第 3



界面3に対し、 $\phi_{out} \doteq \sin^{-1} (\sin(\phi_{in}) / n)$  の角度を持ち、光多重反射体8の内部に入射されることになる。ここで $n$ は、光の波長における基板9の屈折率であり、本実施形態例において約1.5である。そして、この光線は、角度 $\phi = \theta - \phi_{out}$ で第2界面2に入射されることになる。

【0059】

また、第2界面2から出射される光は $\phi_{out} \doteq n \cdot \phi$ の角度を持ち出射されることになる。第1界面1と第2界面2は互いに平行であるので、基板9内で、光が第2界面2で反射するたびに入射光の一部が角度 $\phi_{out}$ で出射されることになる。

【0060】

また、本実施形態例では、前記の如く、アナモルフィックレンズによって集光される光のビームウエストが、光多重反射体8の第3界面3から最初に第2界面2に入射する位置 $A_0$ とほぼ一致するように設計しているので、位置 $A_0$ から発する光は、光軸近傍の干渉方向ではほぼ発散球面波で近似することができる。

【0061】

そして、第2界面2からの出射光は、それぞれ共通の基点 $A_0$ をもち、第2界面2の位置 $A_0$ 、 $A_1$ 、 $\dots$ からそれぞれ出射した球面波を用いて近似することができる。すなわち、光多重反射体8からの出射光は、これらの出射光が互いに干渉して形成されるので、それぞれ共通の基点 $A_0$ をもち、第2界面2の位置 $A_0$ 、 $A_1$ 、 $\dots$ から発した発散球面波の重ね合わせによって求まる。

【0062】

ここで、光軸方向の中心軸に沿って伝搬する光について考える。光多重反射体8の第2界面2の位置 $A_0$ から直接光多重反射体8外に出射した光線と、位置 $A_0$ で反射して第1界面1において1回反射した後に、位置 $A_1$ から光多重反射体8外に出射する光線の光路差を $\Delta L(0)$ とすると、 $\Delta L(0)$ は以下の式(1)により表わされる。

【0063】

$$\Delta L(0) = 2n \cdot d \cdot \cos \phi \cdot \dots \cdot (1)$$

【0064】

位置  $A_0$  から直接出射する光線と位置  $A_1$  から出射する出射する光線が互いに強め合うためには、 $\Delta L(0)$  が波長の整数倍である必要がある。隣り合う全ての光線の光路長差も同様に、 $\Delta L(0)$  であるため、 $\phi_{out}$  の角度を持ち、光多重反射体 8 から出射される光は、波長を  $\lambda$  とすると、以下の式 (2) で示される干渉条件を満たす必要がある。なお、 $m$  は整数である。

【0065】

$$2n \cdot d \cdot \cos \phi = m \cdot \lambda \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

【0066】

次に、図 3 の実線に示すように、光軸方向の中心軸から角度が  $\Delta \phi$  だけ傾いて伝搬する光線について考える。この場合の光路長差は、上記と同様に考えると、位置  $A_0$  から直接出射する光線と位置  $A_1'$  から出射する出射する光線の光路長  $\Delta L(\Delta \phi)$  は式 (3) により示される。また、各位置  $A_0$ 、 $A_1'$ 、 $\cdot \cdot \cdot$  の出射角度は、光軸方向の中心軸に沿って（同図の破線で示す経路で）伝搬する光の出射角度  $\phi_{out}$  と  $\Delta \phi_{out}$  の角度差でもって出射する。この角度差は、式 (4) により示される。

【0067】

$$\Delta L(\Delta \phi) = 2n \cdot d \cdot \cos(\phi + \Delta \phi) \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$$

【0068】

$$\Delta \phi_{out} \doteq n \cdot \Delta \phi \cdot \cdot \cdot \cdot (4)$$

【0069】

なお、式 (4) は、 $\phi$ 、 $\Delta \phi$ 、 $\phi_{out}$ 、 $\Delta \phi_{out}$  が小さく、 $\sin(\phi + \Delta \phi)$  および  $\sin(\phi_{out} + \Delta \phi_{out})$  が  $\phi + \Delta \phi$  および  $\phi_{out} + \Delta \phi_{out}$  に近似できる場合に成立するものであり、本実施形態例では、この条件を満たしている。

【0070】

そして、光多重反射体 8 の第 2 界面 2 からの出射角度は、波長に応じて式 (数 1) により表わされる変化量だけ変化する。

【0071】

【数 1】

$$\frac{d\phi_{out}}{d\lambda} \approx -\frac{n^2}{\lambda \cdot \sin \phi_{out}}$$

【0072】

本実施形態例において、入射角度  $\phi_{in} = 2.4^\circ$ 、 $d = 500 \mu m$  に設定しており、例えば入射光の波長帯を  $1310 nm$  近傍とし、角度  $\phi_{out}$  の出射光が  $1310 nm$  の波長で前記干渉条件を満たす場合、波長の変化に伴う出射角の変化量  $\Delta \phi_{out}$  は、 $\phi_{out} \cong 6.41^\circ$  付近で約  $0.88 (^\circ / nm)$  となる。

【0073】

次に、本実施形態例において、第2のレンズ7の配置と、波長分散の発生量について説明する。まず、図4に示すように、位置  $A_0$  を基準としたときの、第2のレンズ7の中心線Cの高さを  $\sigma$  とし、図5に示すように、光軸方向の中心軸から角度が  $\Delta \phi$  だけ傾いて出射される光線が光多重反射体8の第1界面1と第2界面2との間で多重反射した後に射出する光の射出位置  $A_1'$  の高さを  $\delta$  とする。なお、図5においても、破線が光軸方向の中心軸に沿った光通過経路を示している。

【0074】

ここで、図5に示すように、光多重反射体8の第2界面2が第2のレンズ7の中心線に対し  $\rho$  の角度で傾くように光多重反射体8を配置する。本実施形態例の場合、 $\rho = \phi_{out} = 6.41^\circ$  とした。

【0075】

高さが  $\delta$  上がる際の入射光が反射により光多重反射体8の内部を進む光路長  $D_1$  は、以下の式(5)により示される。

【0076】

$$D_1(\delta, \phi) = (n \cdot \delta) / (\sin \phi \cdot \cos \rho) \cdots \cdots (5)$$

【0077】

ここで、光多重反射体8内を光の中心軸から  $\Delta \phi$  だけずれた角度で進む光が、

図4に示すように、光多重反射体8の高さ $\delta$ の位置 $A_1'$ から出射されて、第2のレンズ7を通過し、反射素子4で反射して再び第2のレンズ7を通過し、位置 $A_h$ に戻る場合、この位置 $A_h$ の第2のレンズ7の中心Cからの高さを $h_1$ とすると、高さ $h_1$ は、以下の式(6)により示される。

【0078】

$$h_1 = 2(f - L) \cdot \Delta\phi_{out} + \sigma - \delta \cdots \cdots (6)$$

【0079】

なお、式(6)において、 $f$ は第2のレンズ7と光反射素子4との距離であり、本実施形態例で第2レンズ7の焦点距離とした。、 $L$ は光多重反射体8と第2のレンズ7との距離（さらに詳しくは、位置 $A_0$ と第2のレンズ7との距離）をそれぞれ示す。

【0080】

また、光多重反射体8の位置 $A_0$ から出射されて、位置 $A_0$ に戻る光の全光路長 $OPL(\phi + \Delta\phi)$ は、次式(数2)により表わされる。

【0081】

【数2】

$$\begin{aligned} OPL(\phi + \Delta\phi) &= D1(\delta, \phi + \Delta\phi) + 2f + 2L + D1(h_1 + \sigma, \phi + \Delta\phi) \\ &\approx 2a + 2f + \frac{2n[n(f - L) \cdot \Delta\phi + \sigma]}{\sin(\phi + \Delta\phi) \cdot \cos \rho} \end{aligned}$$

【0082】

分散量（波長分散値） $D_p$ は、(数2)の波長微分量を光速 $c$ で割ることによって得られるので、次式(数3)により表わされる。

【0083】

【数 3】

$$Dp = \frac{dOPL}{c \cdot d\lambda} = \frac{1}{c} \cdot \frac{dOPL}{d\phi} \cdot \frac{d\phi_{out}}{d\lambda} \cdot \frac{d\phi}{d\phi_{out}}$$

$$= - \frac{n}{\lambda \cdot \sin \phi_{out}} \cdot \frac{1}{c} \cdot \frac{dOPL}{d\phi}$$

$$= - \frac{2n^4 \left[ (f - L) - \frac{\sigma \cdot \cot \left( \frac{\phi_{out}}{n} \right)}{n} \right]}{\lambda \cdot c \cdot \sin^2 \phi_{out} \cdot \cos \rho}$$

【0084】

(数 3) から分かるように、分散量  $Dp$  は、光多重反射体 8 と第 2 のレンズ 7 との距離  $L$  に依存するため、例えば  $L$  を 5 mm とし、 $f$  を 200 とし、前記高さ  $\sigma$  を 2 mm とすると、波長  $1.31 \mu\text{m}$  における分散値を約  $-368 \text{ psec/nm}$  とすることができる。

【0085】

本実施形態例は以上のように構成されており、入・出射用導波手段 5 により導入した光を第 1 のレンズ 6 を介して光多重反射体 8 に入射すると、光は光多重反射体 8 の第 1 界面 1 と第 2 界面 2 とで多重反射しながら進んでいき、光が第 2 界面 2 で反射する際に第 2 界面 2 から一部の光が出射される。そして、この第 2 界面 2 で反射する度に出射される各出射光が互いに干渉することにより光多重反射体 8 からの出射光が形成される。

【0086】

そして、この出射光が、それぞれ第 2 のレンズ 7 を介して光反射素子 4 に入射し、光反射素子 4 で反射した後、前記第 2 のレンズ 7 を介して光多重反射体 8 側

に戻り、この戻り光が光多重反射体 8 の第 2 界面 2 に入射する。この光の入射位置と角度は光の波長によって異なるため、上記のように、光の波長により光多重反射体 8 を通過して戻ってくる時間が異なることになり、波長分散が発生する。

## 【 0 0 8 7 】

本実施形態例において、上記波長分散の発生量は、上記式（数 3）により決定されるので、光多重反射体 8 と第 2 のレンズ 7 との距離  $L$ 、第 2 のレンズ 7 の中心  $C$  の高さ  $\sigma$  等を適宜設定し、例えば波長分割多重伝送に適用される光ファイバ等の光伝送路に対応させることにより、光ファイバ等の接続相手側の波長分散を補償することができる。

## 【 0 0 8 8 】

また、本実施形態例は、図 1 に示したような簡単な構成であり、その作製も容易にでき、さらに小型の可変群遅延ユニットとすることができる。

## 【 0 0 8 9 】

図 9 には、本実施形態例の可変群遅延ユニットを備えた可変群遅延モジュールの構成例が示されており、同図において、可変群遅延ユニットには符号 3 0 を付している。同図に示す可変群遅延モジュールは、上記実施形態例の可変群遅延ユニット 3 0 と、該可変群遅延ユニット 3 0 の入・出射用導波手段 5 に光結合する光結合手段 3 1 と、該光結合手段 3 1 を介して入・出射用導波手段 5 に光を導入する光導入手段 3 2 と、前記光結合手段 3 1 を介して前記入・出射用導波手段 5 からの出射光を導出する光導出手段 3 3 とを有している。なお、ここでは光結合手段 3 1 は光サーキュレータとしている。

## 【 0 0 9 0 】

光導入手段 3 2 と光導出手段 3 3 は、例えばシングルモード光ファイバにより形成することができ、このシングルモード光ファイバを光伝送路等の接続相手側に接続する。そうすると、接続相手側の光部品を伝搬してきた光が、光導入手段 3 2 と光結合手段 3 1 を介して可変群遅延ユニット 3 0 に導入され、可変群遅延ユニット 3 0 を伝搬する。そして、可変群遅延ユニット 3 0 を伝搬した光は、光結合手段 3 1 と光導出手段 3 3 を介して接続相手側に戻され、それにより、接続相手側の波長分散を補償することができる。

## 【 0 0 9 1 】

次に、本発明に係る可変群遅延ユニットの第2実施形態例について説明する。  
なお、本第2実施形態例の説明において、上記第1実施形態例との重複説明は省略する。

## 【 0 0 9 2 】

本第2実施形態例は上記第1実施形態例とほぼ同様に構成されており、本第2実施形態例が上記第1実施形態例と異なる特徴的なことは、第2のレンズ7と光多重反射体8との距離を可変する光部品移動手段を設けたことである。この光部品移動手段は例えばステッピングモータとボールネジにより形成されている。

## 【 0 0 9 3 】

前記の如く、上記第1実施形態例と同様の構成の可変群遅延ユニットにおいて、分散量 $D_p$ は、光多重反射体8と第2のレンズ7との距離 $L$ に依存するため、本第2実施形態例のように、光部品移動手段によって、第2のレンズ7と光多重反射体8との距離を可変することにより、可変群遅延ユニットで発生する分散量を可変することができる。

## 【 0 0 9 4 】

本第2実施形態例において、上記光部品移動手段は、光多重反射体8と第2のレンズ7との距離 $L$ を5 mmから200 mmの間で可変する構成と成しており、波長 $\lambda = 1.31 \mu\text{m}$ における距離 $L$ が200 mmのときの波長分散値は約37 psec/nmとなる。また、前記の如く、波長 $\lambda = 1.31 \mu\text{m}$ における距離 $L$ が5 mmのときの波長分散値は約-368 psec/nmであるから、本第2実施形態例においては、約400 psec/nmの範囲で分散量を可変調節することができる。

## 【 0 0 9 5 】

本第2実施形態例は以上のように構成されており、上記第1実施形態例と同様の効果を奏することができる。また、本第2実施形態例では、上記の如く分散量を可変できるので、可変群遅延ユニット作製後に、接続相手側の光部品に対応させて（求められる分散補償量に対応させて）分散量を可変して臨機応変に適用することができる。

## 【 0 0 9 6 】

次に、本発明に係る可変群遅延ユニットの第3実施形態例について説明する。  
 本第3実施形態例は上記第2実施形態例とほぼ同様に構成されており、本第3実施形態例が上記第2実施形態例と異なる特徴的なことは、図10に示すように、光反射素子4が第2のレンズ7からの出射光が入射する領域（ここでは反射面14）を曲面としての球面と成していることである。本第3実施形態例でも、この領域（光入射領域）には設定波長に対して反射率90%以上の反射膜が形成されている。

## 【 0 0 9 7 】

上記構成の本第3実施形態例において、光多重反射体8内を進む光の中心軸から $\Delta\phi$ だけずれた角度で進む光が、光多重反射体8の高さ $\delta$ の位置 $A_1'$ から出射されて、第2のレンズ7を通過し、反射素子4で反射して再び第2のレンズ7を通過し、位置 $A_h$ に戻る場合、第2のレンズ7の中心軸からの高さを $h_2$ とすると、高さ $h_2$ は、以下の式（7）により示される。

## 【 0 0 9 8 】

$$h_2 = 2 \left[ (f - L) + f^2 / R \right] \cdot \Delta\phi_{out} + \sigma - \delta \cdots \cdots (7)$$

## 【 0 0 9 9 】

また、光多重反射体8の位置 $A_0$ から出射されて、位置 $A_0$ に戻る光の全光路長は、次式（数4）により表わされる。

## 【 0 1 0 0 】

【数4】

$$OPL(\phi + \Delta\phi) = D1(\delta, \phi + \Delta\phi) + 2f + 2L + D1(h_2 + \sigma, \phi + \Delta\phi)$$

## 【 0 1 0 1 】

そして、分散量（波長分散値） $D_p$ は、光反射素子4の表面の曲率半径を $R$ として、次式（数5）により表わされる。

## 【 0 1 0 2 】



【数 5】

$$Dp = \frac{2n^4 \left[ (f-L) - \frac{\sigma \cot\left(\frac{\phi_{out}}{n}\right)}{n} + \frac{f^2}{R} \right]}{\lambda c \cdot \sin^2 \phi_{out} \cdot \cos \rho}$$

【0103】

例えば、Rを10mmとし、高さ $\sigma$ を2mmとすると、光多重反射体8と第2のレンズ7との距離Lが5mmのときの波長1.31 $\mu$ mにおける分散値を約-8689 psec/nmとすることができ、距離Lを200mmとすると、波長1.31 $\mu$ mにおける分散値を約-8283 psec/nmとすることができる。

【0104】

このように、本第3実施形態例は、上記第2実施形態例と同様の効果を奏することができ、本第3実施形態例の可変群遅延ユニットによる分散量の調節量は上記第2実施形態例と同様で、分散補償量の絶対値を大きくすることができる。

【0105】

なお、本発明は上記実施形態例に限定されることはなく、様々な実施の態様を採り得る。例えば上記第2、第3実施形態例では、光部品移動手段を設けて光多重反射体8と第2のレンズ7との距離を可変するようにしたが、光部品移動手段は、第2のレンズ7と光反射素子4の少なくとも一方の光部品と光多重反射体8との距離を可変する構成とすれば同様の効果を奏することができる。

【0106】

また、上記第3実施形態例では、光反射素子4の反射面14を球面としたが、球面以外の曲面としてもよい。

【0107】

さらに、上記各実施形態例では、光多重反射体8はガラス基板9を有する光多重反射板としたが、光多重反射体8は必ずしも光多重反射板とするとは限らず、板状以外の光多重反射体8としてもよい。また、光多重反射体8を光多重反射板

とする場合、その基板は必ずしもガラス基板 9 を有するとは限らず、光の使用波長に対して透明な（光を透過する）、例えば石英等の結晶を基板 9 とする光多重反射板とすることができる。なお、ガラス基板は最も作り易い利点がある。

## 【 0 1 0 8 】

さらに、上記各実施形態例では、入・出射用導波手段 5 により導入された光を光多重反射体 8 の第 3 界面 3 に入射して第 2 界面 2 から出射し、光反射素子 4 で反射した光を前記第 2 界面 2 に入射して前記第 3 界面 3 から出射する構成としたが、例えば図 1 1 に示すように、入・出射用導波手段 5 により導入されて光多重反射体 8 の第 3 界面 3 に入射した光を第 1 界面 1 から出射し、光反射素子 4 で反射した光を前記第 1 界面 1 に入射して前記第 3 界面 3 から出射する構成としてもよい。

## 【 0 1 0 9 】

この場合、例えば光多重反射体 8 の第 2 界面 2 に設定波長帯の光に対する反射率 9 9 % 以上の反射膜を形成し、第 1 界面 1 には設定波長帯の光に対する反射率 6 0 % 以上の反射膜を形成するとよい。

## 【 0 1 1 0 】

さらに、上記各実施形態例では、光多重反射体 8 の第 1 界面 1 と第 3 界面 3 との成す角度  $\alpha$  を  $150^\circ$  以上  $175^\circ$  以下の範囲内の値である  $160^\circ$  としたが、角度  $\alpha$  は  $160^\circ$  とは限らず、この範囲内の値であればよい。また、角度  $\alpha$  は  $150^\circ$  以上  $175^\circ$  以下の範囲内の値であることが好ましいが、角度  $\alpha$  は  $90^\circ$  より大きく  $180^\circ$  より小さい範囲内の値としてもよい。

## 【 0 1 1 1 】

さらに、上記実施形態例では、入・出射用導波手段 5 はシングルモード光ファイバとしたが、入・出射用導波手段 5 は、マルチモード光ファイバ、グレーテッドインデックス光ファイバ、分散シフト光ファイバ、偏波保持光ファイバ、平面導波路のいずれか一つにより形成されていればよい。

## 【 0 1 1 2 】

## 【発明の効果】

本発明によれば、入・出射用導波手段と光反射素子との間に光多重反射体を設

け、入射光を光多重反射体の互いに平行に対向する第1界面と第2界面で多重反射しながら光多重反射体の第1界面または第2界面から出射し、光反射素子で反射して戻ってくる光が、光の波長によって伝搬距離（光路長）が異なることを利用して群遅延を発生させる（波長分散を発生させる）ものであるから、波長分散の発生量を接続相手側に対応させることにより、接続相手側の波長分散を補償することができる。

## 【0113】

また、本発明は、上記入・出射用導波手段と光多重反射体と光反射素子と、第1と第2のレンズを設けて構成されるものであり、非常に簡単な構成であるため、作製も容易であり、小型で低コストの可変群遅延ユニットまたは可変群遅延モジュールとすることができる。

## 【0114】

さらに、本発明において、光多重反射体の第1界面と第3界面との成す角度を $150^{\circ}$ 以上 $175^{\circ}$ 以下の範囲内の値とした構成によれば、光多重反射体を容易に作製し易いので、容易に可変群遅延ユニットや可変群遅延モジュールを作製することができる。

## 【0115】

さらに、本発明において、光多重反射体の第3界面には少なくとも光が通過する領域に設定波長帯の光の反射防止膜が形成され、第1界面と第2界面には少なくとも光が通過または反射する領域に設定波長帯に対する反射率が60%以上の反射膜が形成されている構成によれば、光を効率良く光多重反射体内に入射させ、第1界面と第2界面とで多重反射して出力することができる。

## 【0116】

さらに、本発明において、光多重反射体の第1界面および第2界面は使用波長帯において透明な基板の両面を加工することにより形成されている構成においては、非常に容易に光多重反射体を作製することができ、容易に可変群遅延ユニットや可変群遅延モジュールを作製できる。

## 【0117】

さらに、本発明において、第1のレンズは光多重反射体内で反射しながら進む

光の干渉方向のスポット径が該干渉方向に直交する直交方向のスポット径よりも小さい光とするアナモルフィックレンズを有する構成によれば、光多重反射体内で反射しながら進む光を効率良く干渉させることができ、効率良く波長分散を発生させることができる。

## 【 0 1 1 8 】

さらに、本発明において、入・出射用導波手段はシングルモード光ファイバ、マルチモード光ファイバ、グレーテッドインデックス光ファイバ、分散シフト光ファイバ、偏波保持光ファイバ、平面導波路のいずれか一つにより形成し、上記効果を奏する優れた可変群遅延ユニットや可変群遅延モジュールを形成することができる。

## 【 0 1 1 9 】

さらに、本発明において、第1のレンズと第2のレンズは、ボールレンズ、球面レンズ、分布屈折率型レンズ、非球面レンズ、シリンドリカルレンズ、マルチモードグレーテッドファイバレンズ、アナモルフィックプリズムを1つ以上組み合わせ形成されており、光が入射する面に設定波長に対する反射防止膜が形成されている構成によれば、第1のレンズと第2のレンズにより、効率良く光の集光等の機能を果たすことができる。

## 【 0 1 2 0 】

さらに、本発明において、光反射素子は第2のレンズからの出射光が入射する領域を平面と成し、該領域には設定波長帯に対して反射率90%以上の反射膜が形成されている構成によれば、光反射素子を容易に形成できるし、光反射素子により効率的に光を反射して、効率の良い可変群遅延ユニットや可変群遅延モジュールを形成できる。

## 【 0 1 2 1 】

さらに、本発明において、光反射素子は第2のレンズからの出射光が入射する領域を曲面と成し、該領域には設定波長帯に対して反射率90%以上の反射膜が形成されている構成によれば、光反射素子により効率的に光を反射して、効率の良い可変群遅延ユニットや可変群遅延モジュールを形成できるし、曲面の曲率半径を適宜設定することにより、分散の絶対量が大きい可変群遅延ユニットや可変

群遅延モジュールを形成できる。

【 0 1 2 2 】

さらに、本発明において、第 1 のレンズは少なくとも 2 種類のレンズを有する複合レンズとし、該複合レンズは少なくとも入・出射用導波手段から出射された光を平行光にする前記コリメートレンズと、光多重反射体内で反射しながら進む光の干渉方向のスポット径を該干渉方向に直交する直交方向のスポット径よりも小さい光とするアナモルフィックレンズとを有する構成によれば、光多重反射体内で反射しながら進む光をより一層効率良く干渉させることができ、効率良く波長分散を発生させることができる。

【 0 1 2 3 】

さらに、本発明において、第 2 のレンズと光反射素子の少なくとも一方の光部品と光多重反射体との距離を可変する光部品移動手段を設けた構成によれば、第 2 のレンズと光反射素子の少なくとも一方の光部品と光多重反射体との距離を可変することにより、光反射素子からの戻り光の第 2 界面への戻り位置を可変できるので、発生させる波長分散量を可変することができる。

軸から  $\Delta \phi$  の角度をもって伝搬する光線の伝搬状態を示す説明図である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係る可変群遅延ユニットの第 1 実施形態例を示す要部構成図である。

【図 2】

上記実施形態例において光多重反射体の第 3 界面に入射した光の光軸方向中心軸に沿った伝搬状態を示す説明図である。

【図 3】

上記実施形態例において光多重反射体の第 3 界面に入射した光の光軸方向中心軸から  $\Delta \phi$  の角度をもって伝搬する光線の伝搬状態を示す説明図である。

【図 4】

上記実施形態例において光多重反射体からの出射光が光反射素子で反射して光多重反射体に戻る伝搬状態を示す説明図である。

【図 5】

上記実施形態例において光多重反射体からの出射光の出射位置と光学光路長の関係を示す説明図である。

【図 6】

(a) は上記実施形態例における入・出射用導波手段からの出射光、(b) は第 1 のレンズのコリメートレンズからの出射光、(c) は第 1 のレンズのアナモルフィックレンズにより集光した光のそれぞれのスポット形状を示す説明図である。

【図 7】

上記実施形態例に適用した光多重反射体の作製方法を示す説明図である。

【図 8】

光多重反射体の作製方法の別の例を示す説明図である。

【図 9】

上記実施形態例の可変群遅延ユニットを備えた可変群遅延モジュールの例を示す説明図である。

【図 1 0】

本発明に係る可変群遅延ユニットの第 3 実施形態例を示す説明図である。

【図 1 1】

本発明に係る可変群遅延ユニットの他の実施形態例を示す説明図である。

【図 1 2】

光多重反射体の第 1 界面と第 3 界面との角度が適切に形成された場合の、入射光の入射位置から境界部 E までの第 3 界面に沿った距離の説明図である。

【図 1 3】

光多重反射体の第 1 界面と第 3 界面が同一面上にある場合の、入射光の入射位置から境界部 E までの第 3 界面に沿った距離の説明図である。

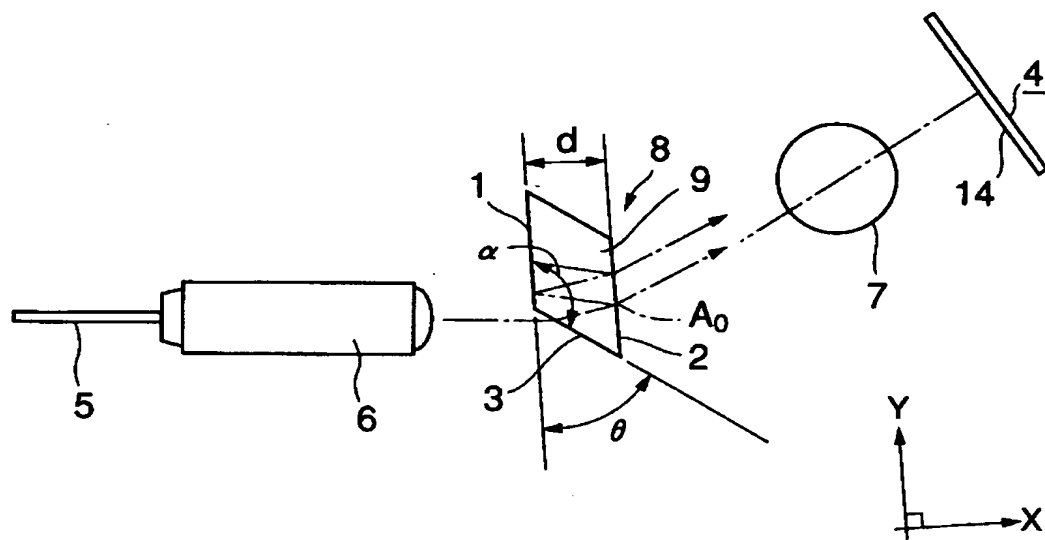
【符号の説明】

- 1 第 1 界面
- 2 第 2 界面
- 3 第 3 界面
- 4 光反射素子

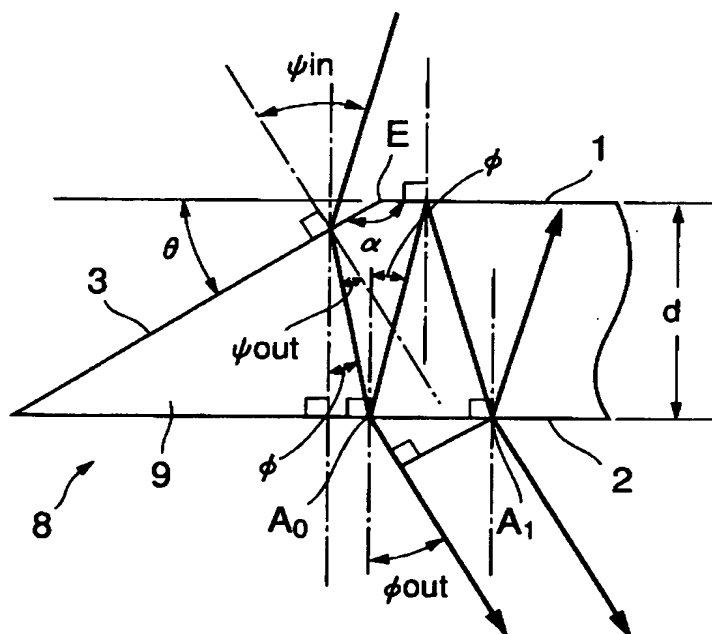
- 5 入・出射用導波手段
- 6 第 1 のレンズ
- 7 第 2 のレンズ
- 8 光多重反射体
- 3 0 可変群遅延ユニット
- 3 1 光結合手段
- 3 2 光導入手段
- 3 3 光導出手段

【書類名】 図面

【図 1】

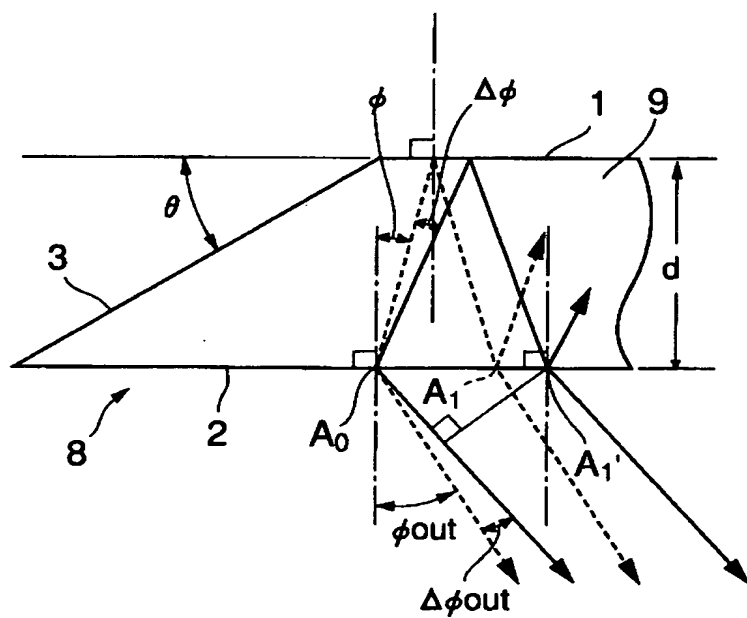


【图 2】

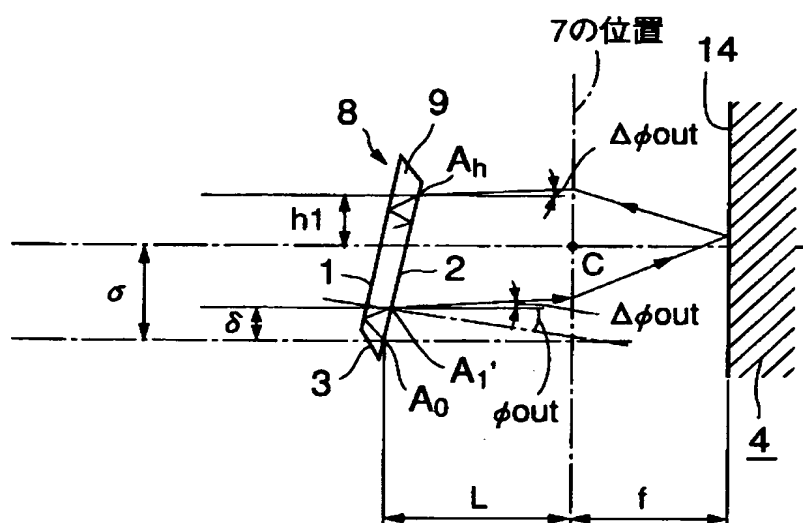




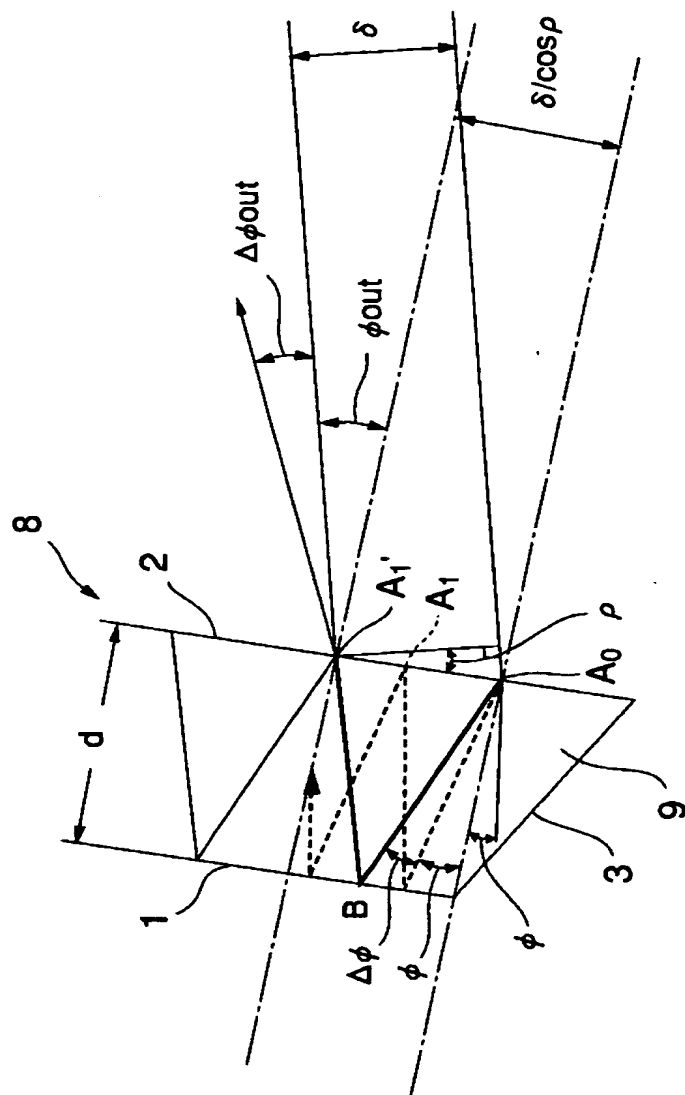
【図 3】



【図 4】



【図 5】

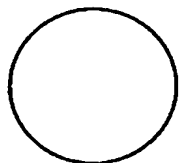


【図 6】

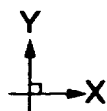
(a)



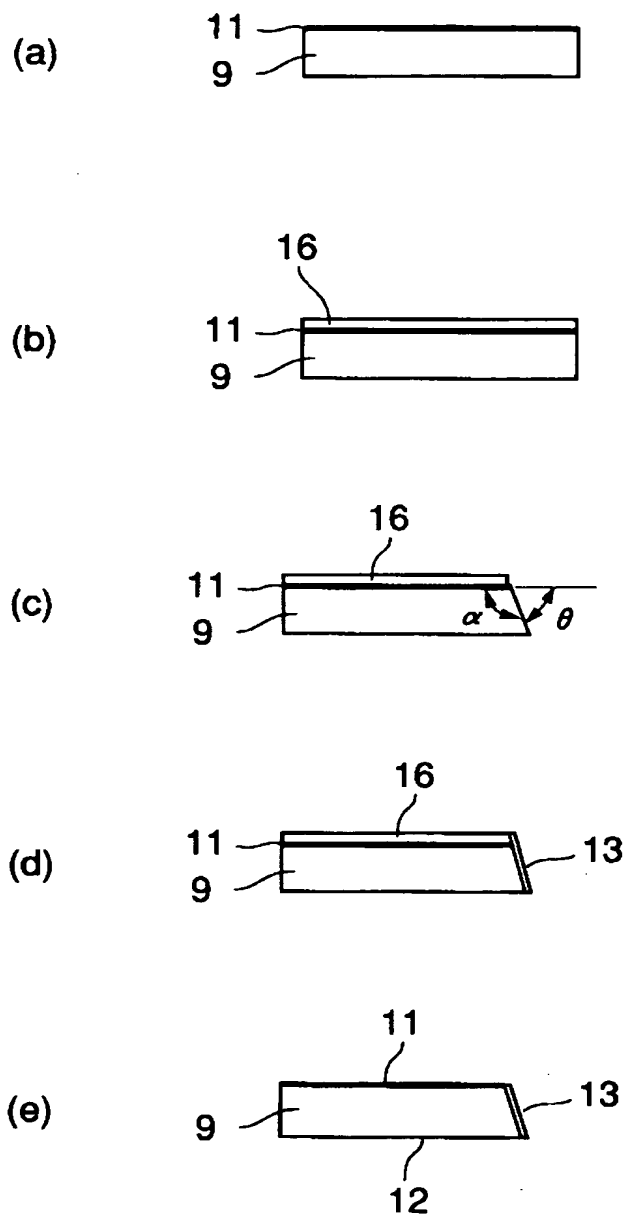
(b)



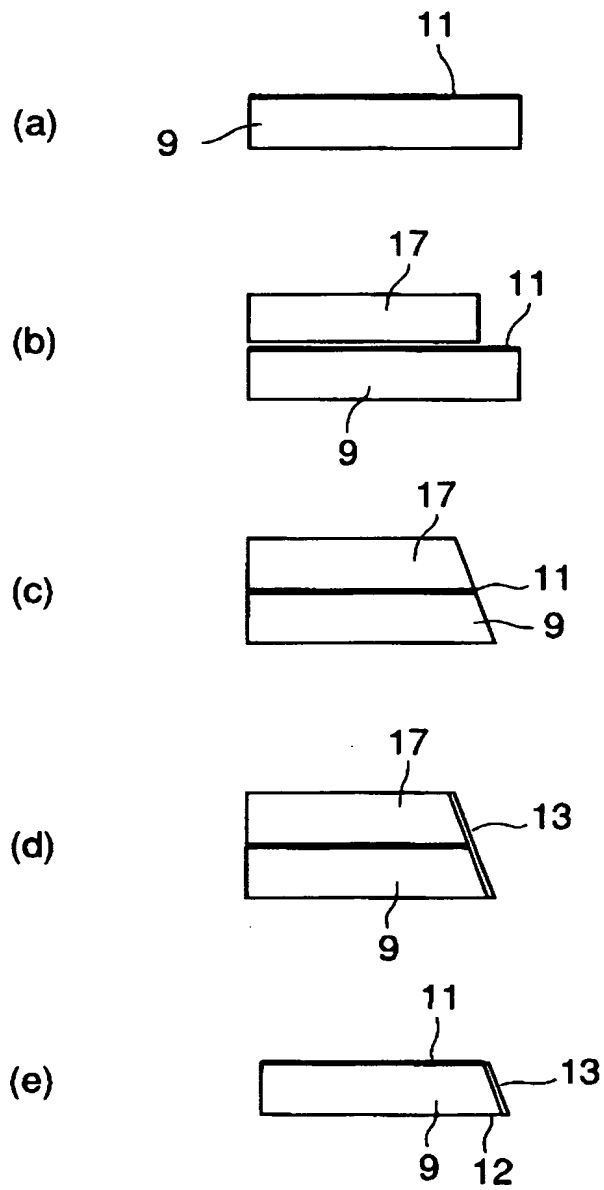
(c)



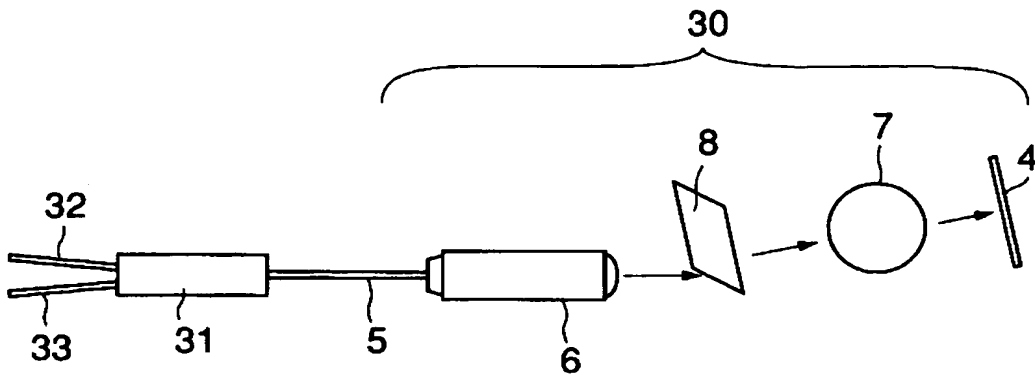
【図 7】



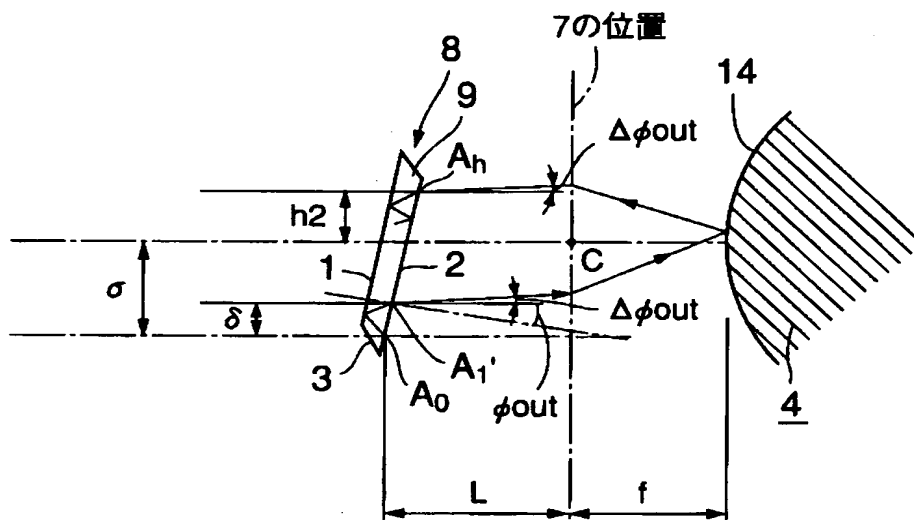
【図 8】



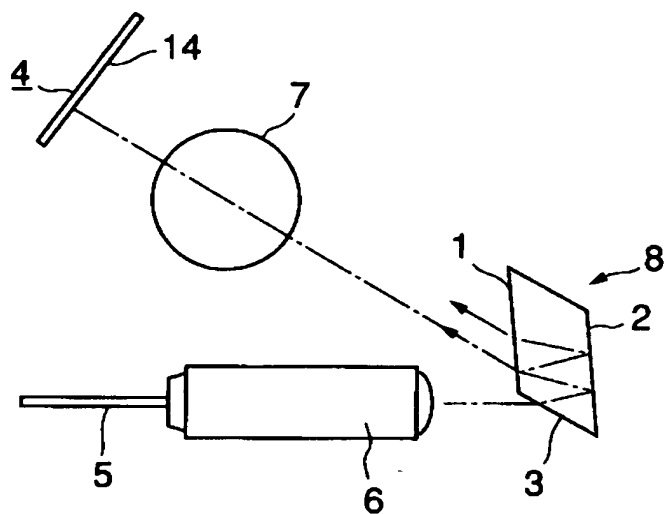
【図 9】



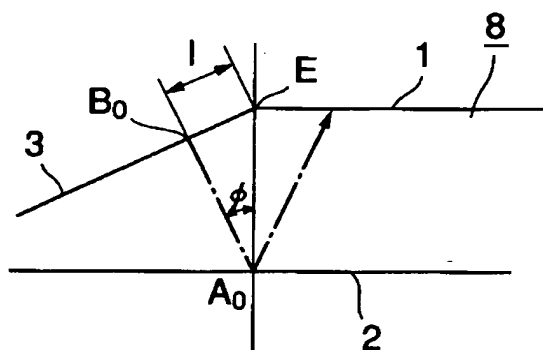
【図 10】



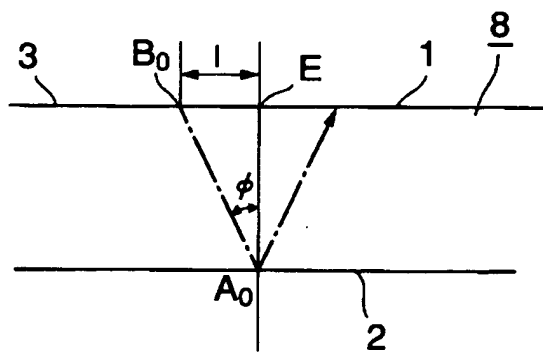
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】



特 2 0 0 1 - 0 3 4 0 9 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 5 2 9 0 ]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 9 日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号  
氏 名 古河電気工業株式会社





Creation date: 01-08-2003  
Indexing Officer: KTRIEU - KIM TRIEU  
Team: OIPEBackFileIndexing  
Dossier: 10040957

Legal Date: 08-02-2002

No.	Doccode	Number of pages
1	CTMS	1

Total number of pages: 1

Remarks:

Order of re-scan issued on .....